

# Estimación de la precipitación máxima probable en una cuenca hidrográfica como parámetro de riesgo

M.º DEL MAR MONTERO MATÉ

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

En cualquier investigación de riesgos climáticos se analizan episodios atmosféricos de rango extremo en un ámbito determinado, con el fin último de mejorar el conocimiento de su realidad climática y reconocer las áreas frecuentemente afectadas por los distintos hechos atmosféricos. En este sentido se utiliza la PMP, Precipitación Máxima Probable, cuyos valores se consideran estimaciones del límite superior de la precipitación potencial sobre un área. Así, la PMP proporciona no sólo la oportunidad de valorar los sucesos extraordinarios que han acontecido históricamente en una superficie dada, sino que su relevancia radica en que facilitan una medida del riesgo que implican tales fenómenos.

Durante los últimos años, han proliferado los estudios sobre los episodios atmosféricos extremos. Ello es debido a la trascendencia de los impactos de los riesgos climáticos en las actividades económicas. En España, los perjuicios económicos ocasionados por dichos eventos extraordinarios representan, según los años, entre el 0,15 y el 1% del P.I.B. anual. Los episodios hídricos (lluvias torrenciales con efectos de inundación) son los que se registran en mayor número. Con el fin último de mejorar el conocimiento de su realidad climática y reconocer las áreas más frecuentemente afectadas por estos hechos atmosféricos se utiliza la Precipitación Máxima Probable (PMP), cuyos valores se consideran estimaciones del límite superior de la precipitación potencial sobre un área. Así, la PMP proporciona no sólo la oportunidad de valorar los sucesos extraordinarios que han acontecido históricamente en una superficie dada, sino que su relevancia radica en que facilitan una medida del riesgo que implican tales fenómenos.

## Antecedentes

La «Precipitación Máxima Probable» (PMP) se define como la mayor cantidad de precipitación meteorológicamente posible, para una determinada duración, en un área afectada por un temporal y en una época del año determinada, sin tener en cuenta las tendencias climáticas a largo plazo.

Si bien los procedimientos estimativos de la PMP no son susceptibles de una normalización estricta de validez universal, dada la diversidad casuística que puede presentarse al respecto (en relación con la cantidad y calidad de los datos disponibles, con el tamaño de la cuenca y su emplazamiento, topografía y clima de la zona en estudio, y con la tipología de los temporales que dan lugar a precipitaciones extremas), se han diseñado algunas metodologías aplicables a cuencas de cierta extensión pertenecientes a regiones de determinadas características topográficas y climáticas.

Uno de estos procedimientos es el método meteorológico o tradicional, en el que la PMP se determina mediante maximización de los principales temporales históricos. Los criterios utilizados para maximizar los valores de precipitación más altos registrados conllevan ajustes de humedad y la obtención de curvas envolventes.

La estimación de la PMP tiene una aplicación directa en diferentes campos. En el área de ingeniería, el análisis de avenidas y cálculo de niveles de inundación facilita el diseño de estructuras seguras que soporten grandes avalanchas de agua. En estas situaciones, el riesgo de fallo de las estructuras (centrales nucleares, almacenes de residuos radiactivos, fábricas de concentrados de uranio, embalses, trazado de carreteras y puentes) debe ser minimizado. Además, resulta de utilidad en el desarrollo de campañas de prevención de riadas producidas por la acumulación de considerables can-

tidades de agua en cortos períodos de tiempo, permitiendo configurar mapas de riesgo y peligrosidad. En el ámbito de La Gerencia de Riesgos, esta estimación encuentra aplicación en el cálculo de las máximas pérdidas que se pueden producir y la decisión de las medidas de protección –coste que se justifica– y su combinación con la cobertura aseguradora.

## Metodología para la estimación de la PMP

El procedimiento destinado a estimar la PMP que se describe a continuación aparece esquematizado en la Tabla 1.

### Información básica necesaria

Los datos que se requieren para la aplicación de dicho procedimiento son:

- a) Registros de precipitaciones diarias ( $P_{24h}$ ) a lo largo de todo el período de tiempo disponible, en todas las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca hidrográfica y de altitud no superior a 1.000 m.
- b) Mapas sinópticos de superficie y topografías de las superficies isobáricas de 500 y 850 hPa, correspondientes a las fechas de ocurrencia de los temporales seleccionados.
- c) Datos de temperatura del termómetro seco (T), temperatura del termómetro húmedo ( $T_h$ ) y presión atmosférica (P) de todas las estaciones ubicadas en la cuenca que dispongan de ellos, y para todo el período de registro disponible.

### Etapas del procedimiento

#### 1. Delimitación y caracterización de la zona de estudio

El paso previo a la aplicación del procedimiento consiste en delimitar la zona de estudio,

Tabla 1. Metodología para la estimación de la PMP

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <b>I. INFORMACIÓN BÁSICA NECESARIA</b>  | Registros de $P_{24h}$<br>Mapas sinópticos de superficie y topografías de 500 y 850 hPa<br>Registros de T, $T_h$ , P  |  |   |
| <b>II. SELECCIÓN DE TEMPORALES</b>      | Inicial   | Selección de $P_{24h} >$ Umbral pluviométrico  |   |
|   | Final   | Análisis de los patrones meteorológicos<br>Distribución espacial de la precipitación | Mapas de superficie<br>Topografías de 500 y 850 hPa<br>Trazado de mapas de isoyetas diarias y acumuladas<br>Determinación curvas P-A acumuladas |
| <b>III. REPRESENTACIÓN CURVAS P-A-D</b> | Trazado curvas P-A-D para 2, 6, 12, 24, 48 y 72 h para cada temporal  |  |   |
| <b>IV. MAXIMIZACIÓN POR HUMEDAD</b>     | Obtención puntos de rocío ( $T_a$ )<br>Determinación alturas de agua precipitable<br>Cálculo del factor de maximización ( $r_m$ )<br>Trazado curvas P-A-D maximizadas por humedad para 2, 6, 12, 24, 48 y 72 h para cada temporal | Obtención máximo punto de rocío persistente 12 h<br>W<br>W <sub>50</sub>             | $T_{a12h}$<br>$T_{a12h(50)}$  |
| <b>V. ESTIMACIÓN DE LA PMP</b>          | Obtención de envolventes de datos maximizados de todos los temporales en conjunto para cada duración  |  |   |

que puede abarcar una o varias subcuencas fluviales, teniendo en cuenta que la extensión total no exceda los 50.000 km<sup>2</sup>, y que se trate de una región la latitud media (clima templado) relativamente llana o, en todo caso, presente un relieve suave y sin grandes variaciones de altitud dentro de ella.

Una vez delimitada la zona es conveniente hacer una descripción general de sus características geográficas y climáticas. En este sentido, el estudio climatológico se refiere a la descripción de dos de los elementos del clima, **precipitación y temperatura**, que otorgan al sistema físico atmosférico sus propiedades y características particulares.

## 2. Selección de temporales

### ● Selección inicial

En una primera etapa, y siguiendo criterios pluviométricos, se realiza la selección inicial de los temporales que han tenido lugar históricamente en la cuenca en estudio. Para ello es

preciso recopilar los datos de  $P_{24h}$  iguales o superiores a 100 mm, en todo el período de registro disponible y en todas las estaciones pluviométricas consideradas. En algunos casos en que el análisis climatológico pluviométrico de la zona en estudio así lo sugiera, puede fijarse el valor del umbral pluviométrico por debajo del límite antes indicado.

### ● Selección final

En segundo término, se procede a un análisis de las **situaciones meteorológicas** que dieron lugar a esos temporales, en base a los mapas sinópticos de superficie y a las topografías de las superficies isobáricas de 500 a 850 hPa (hPa = hecto Pascal = 1 milibar) correspondientes a las fechas de ocurrencia de aquellos.

A continuación, es conveniente hacer un estudio de la distribución espacial de los datos pluviométricos disponibles. Para ello, se realiza el trazado de los **mapas de isoyetas** (líneas de precipitación constante), tanto diarias como acumuladas, de cada uno de los temporales

considerados. Además, se determinan las **curvas Precipitación-Área (P-A)** para las precipitaciones acumuladas de los mismos.

En base a estos dos criterios (situación meteorológica asociada y distribución espacial de precipitación) se eliminan algunos temporales, quedando tan sólo los más significativos.

### 3. Curvas Precipitación-Área-Duración (P-A-D)

Una vez obtenida la relación definitiva de los temporales relacionados para el estudio, se representan las curvas P-A-D para 2, 6, 12, 24, 28 y 72 h para cada uno de ellos. Este apartado es complejo y laborioso pues conlleva el análisis de una gran cantidad de datos y el cálculo de distintos parámetros para cada temporal.

Las curvas P-A-D establecen la relación entre el área afectada y la máxima pluviometría real producida en cada duración y promediada sobre dicha área.

### 4. Maximización por humedad de los temporales

Se trata de un proceso de ajuste de las cantidades de precipitación observadas incrementándolas hasta un valor hipotético que se produciría si el contenido de humedad del flujo de aire hacia el temporal fuese el máximo para el lugar y estación del año correspondientes.

#### ● *Máximo punto de rocío persistente 12 h*

En meteorología, se utiliza como indicador del contenido de humedad atmosférica la temperatura del punto de rocío a 1.000 hPa. Puesto que el flujo de humedad tiene un efecto apreciable sobre la precipitación del temporal, la humedad preferentemente considerada debe ser la que persista durante horas. Por ello, generalmente se utiliza el máximo punto de rocío persistente durante 12 h, siendo éste el valor del punto de rocío igualado o excedido por todas las observaciones en un período de 12 h consecutivas.

Es necesario identificar el punto de rocío representativo del flujo de humedad propio del

temporal ( $T_{d12h}$ ), así como estimar, como el más probable en el lugar y época del año en que se produce el temporal, el máximo punto de rocío para un período de retorno convenientemente elegido (50 años) ( $T_{d12h}(50)$ ).

#### ● *Altura de agua precipitable*

A continuación, se procede a determinar las alturas de agua precipitable desde la superficie hasta el límite superior de la troposfera (aproximadamente 200 hPa) correspondientes a los dos valores  $T_{d12h}$  y  $T_{d12h}(50)$  previamente determinados para cada temporal, es decir, la altura de agua precipitable representativa de cada temporal ( $W$ ) y la máxima altura de agua precipitable estimada para un período de retorno de 50 años ( $W_{50}$ ). Ambos valores se encuentran tabulados.

#### ● *Factor de maximización*

El cociente entre los dos valores anteriores ( $W_{50}$  y  $W$ ) es el factor de maximización de cada temporal o  $r_m$ .

#### ● *Curvas P-A-D maximizadas*

La última fase de este laborioso apartado consiste en la representación de las curvas P-A-D maximizadas por humedad para las duraciones de 2, 6, 12, 24, 48 y 72 h para cada temporal. Para el trazado de las mismas, se multiplica la precipitación correspondiente a cada una de las superficies y duraciones de las curvas P-A-D reales para cada temporal por el  $r_m$  apropiado y previamente calculado.

### 5. Estimación de la PMP

Tener en cuenta únicamente un número limitado de temporales no garantiza que se haya obtenido el nivel de la PMP, independientemente de lo sofisticado que sean los ajustes de maximización. Sin embargo, una envolvente de muchos valores de precipitación maximizados probablemente producirá valores indicativos de la magnitud de la PMP. Esto es cierto, ya

que no es de esperar que ningún temporal/es produzca/n valores extremos de precipitación para todas las duraciones y tamaño de superficies. Por esta razón, la obtención de envolventes se considera el último paso necesario al estimar la PMP.

De esta manera, se obtienen en primer lugar las envolventes de los datos de precipitación maximizados de todos los temporales en conjunto para cada duración por separado (2, 6, 12, 24, 48 y 72 h).

Los valores tomados de las curvas envolventes anteriores se utilizan para construir el conjunto de curvas P-A-D de la PMP.

## Ilustración del método de estimación de la PMP: aplicación a la cuenca hidrográfica del Guadalquivir

Varias razones aconsejan utilizar estudios reales para ilustrar el método de estimación de la PMP antes descrito. La primera es que, al estar realizados para situaciones reales, ilustran mejor el proceso real de lo que lo harían descripciones de situaciones hipotéticas. La segunda razón es que proporcionan más detalles de los que pueden incluirse en una metodología general y se puede disponer de ellos como referencia.

### Descripción geográfica y climática de la cuenca

La cuenca del Guadalquivir, con una extensión aproximada de 50.000 km<sup>2</sup> y cuya arteria principal es el río del mismo nombre, se desarrolla en su mayor parte en los relieves de la

cordillera Penibética, donde tienen su origen los dos principales afluentes: el Genil y el Guadiana Menor. El margen derecho de la cuenca ocupa Sierra Morena y el sector meridional de la Mancha.

Se trata de una región de lluvias escasas; los afluentes procedentes de Sierra Morena tienen reducidos caudales, y los afluentes béticos aunque algo más cuidadosos son, por su tamaño, pobres en agua. No obstante, las crecidas invernales son espectaculares en la llanura fluvial, fácilmente inundable, donde el manto de agua cubre extensiones muy considerables.

### Climatología estadística de la precipitación

El estudio se realizó basándose en los resúmenes mensuales pluviométricos y termométricos informatizados de las 22 estaciones completas de la cuenca para el período de años comprendido entre 1951 y 1994.

El dato más relevante obtenido de este análisis es el hecho de que la cuenca del Guadalquivir es una región con escasa pluviometría anual, donde la casi totalidad de las precipitaciones se producen en forma de lluvia, observándose un máximo en invierno (90 mm) y un mínimo muy acusado en verano (4 mm), con precipitaciones muy bajas durante los meses de julio y agosto.

La evolución termométrica a lo largo del año presenta un comportamiento inverso al de la precipitación. Así, las temperaturas más elevadas se registran en los meses de verano (30 °C en julio y agosto), siendo enero el mes más frío donde se alcanzan temperaturas de 17 °C que manifiestan la suavidad de la estación invernal.

Además, la distribución espacial (mapas de isolíneas) en la cuenca del Guadalquivir de la máxima precipitación total y de la temperatura media anual reflejó, en primer lugar, la existencia de tres máximos pluviométricos coincidiendo con las estribaciones de Sierra Morena, Serranía de Ronda y Sierra Nevada y, en segundo lugar, la irregularidad de la distribución de la temperatura media anual, apreciándose

la penetración hacia el interior de la templanza marítima ejercida por los vientos húmedos del SW.

En resumen, la cuenca del Guadalquivir se encuentra a caballo entre dos subregiones climáticas, continental atenuada y extremada continental. Se caracteriza respecto a la precipitación por inviernos lluviosos y veranos secos. El estar abierta por el SW a la entrada de las masas de aire marítimo y cálido de origen subtropical y, por consiguiente, de mayor contenido en humedad, constituye el factor determinante en los mecanismos de generación de lluvias intensas.

## Información básica

Todos los datos necesarios para la elaboración de este trabajo se han obtenido de los archivos del Instituto Nacional de Meteorología (INM). El período de registro informatizado abarca desde 1951 a 1994.

Se seleccionaron un número elevado de estaciones que proporcionaron una base de datos de  $P_{24h}$  suficientemente representativa de la cuenca. La información de la base de datos se acompañó de los mapas de superficie y topo-

gráficas de las superficies isobáricas de 500 y 850 hPa correspondientes a las fechas de ocurrencia de los temporales inicialmente seleccionados. Además, las estaciones de radiosondeos de Cádiz, Sevilla y Córdoba aportaron los datos de T, T<sub>v</sub> y P registrados a las 9, 7, 13 y 18 h para el período de 1951-1994.

## Selección de temporales

### Selección inicial

Teniendo en cuenta la bibliografía consultada y las características climáticas de la zona, se determinó un umbral pluviométrico previo de 60 mm. Puesto que el número de temporales encontrados con este criterio era muy elevado, parecía necesario aumentar dicho umbral estableciéndose finalmente en 85 mm, lo que permitió seleccionar las precipitaciones intensas más sobresalientes desde 1951 a 1994.

La Tabla 2 muestra la relación de los 11 temporales inicialmente seleccionados.

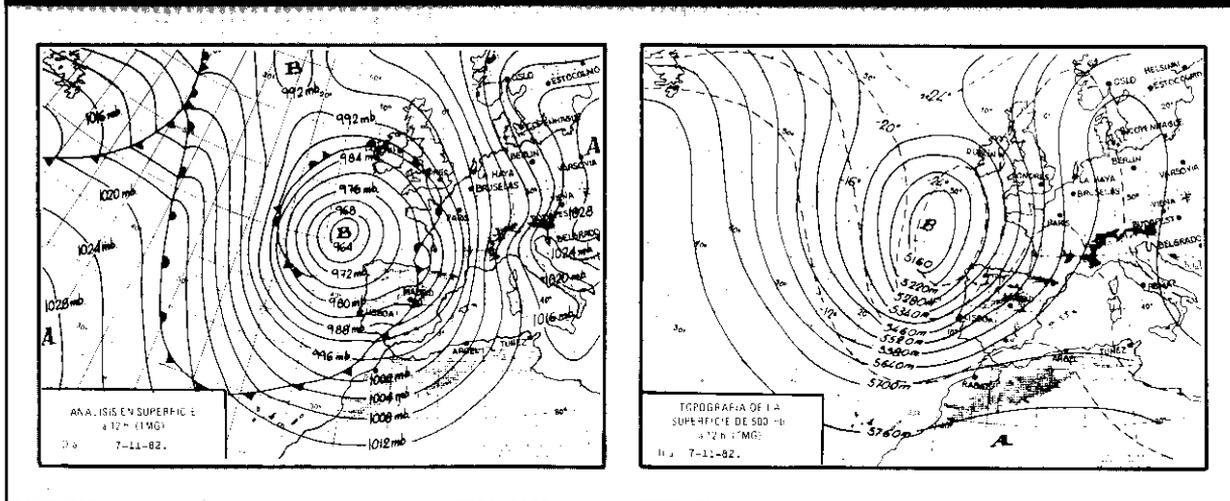
### Selección definitiva

Posteriormente, se estimó la duración aproximada de cada temporal y se llevó a cabo el

Tabla 2. Temporales iniciales

| Indicativo estación | Provincia | Valor máximo $P_{24h}$<br>(décimas de mm) | Fecha    |
|---------------------|-----------|---|----------|
| 5960                | Cádiz     | 1.280                                     | 27/12/62 |
| 5976                | Cádiz     | 1.344                                     | 1/10/66  |
| 5515                | Granada   | 1.074                                     | 31/05/67 |
| 5973                | Cádiz     | 1.490                                     | 26/03/69 |
| 5511E               | Granada   | 1.236                                     | 6/12/76  |
| 5973                | Cádiz     | 886                                       | 9/12/77  |
| 5270                | Jaén      | 999                                       | 7/11/82  |
| 5738                | Sevilla   | 929                                       | 15/11/83 |
| 5960                | Cádiz     | 894                                       | 8/11/84  |
| 5402                | Córdoba   | 870                                       | 21/11/89 |
| 5960                | Cádiz     | 942                                       | 10/10/91 |

Figura 1. Mapas sinópticos del temporal del 7 de noviembre de 1982



análisis de las situaciones meteorológicas (mapas sinópticos de superficie y topografías de 500 y 850 hPa) correspondientes a las fechas en las que tuvieron lugar. Los temporales inicialmente seleccionados presentaban situaciones meteorológicas con características comunes de origen y evolución mostrándose los mapas sinópticos correspondientes al temporal más representativo en el día en que se registró la precipitación máxima (7-XI-82) (Figura 1).

La extensa y profunda depresión atlántica tiene su centro al NW de la Península por debajo del paralelo  $50^{\circ}$  (aproximadamente sobre el Golfo de Vizcaya), manifestándose en altura (topografía de la superficie de 500 hPa) por extensos meandros con sus ejes orientados de N a S, a longitudes alrededor de los  $10^{\circ}$  W. Su duración es de tres días aunque en otras ocasiones puede llegar a alcanzar los seis. Antes del paso del frente, los vientos cálidos y húmedos del SW dan origen a importantes precipitaciones en la mitad S de la Península, siendo esta situación la responsable de los temporales de lluvia más fuertes de la depresión del Guadalquivir. Esta descripción es válida para todos los temporales a excepción de los tres siguientes: **67/5**, **69/3** y **76/12** que fueron discriminados por

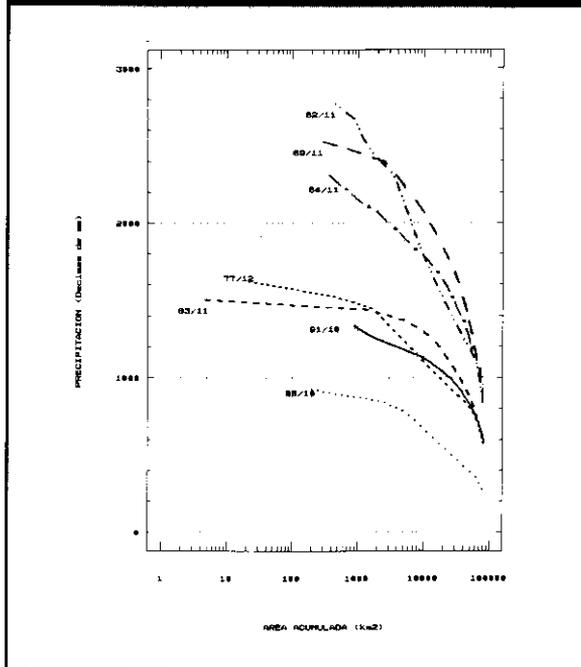
tratarse de un fenómeno tormentoso muy local con lluvias intensas de un solo día de duración. Se eliminó, además, un cuarto temporal (**67/12**) al no disponerse de las topografías isobáricas.

Se procedió, a continuación, al trazado de los mapas de isoyetas diarias y acumuladas de los 7 temporales seleccionados hasta el momento, estudiando principalmente la situación de los máximos de precipitación.

Las isoyetas acumuladas de los temporales identifican la mitad occidental de la cuenca como la zona de mayor impacto, localizándose un máximo pluviométrico en las proximidades de Sierra Morena, que pone de manifiesto la influencia del factor orografía en el régimen de precipitaciones, y un segundo máximo situado al norte de Algeciras. Muy rara vez llegan a registrarse valores importantes en la parte oriental de la cuenca.

Además, se determinaron las curvas P-A acumuladas para los mismos temporales (Figura 2). Puede observarse una marcada división de los temporales en dos grupos de distinta intensidad. El trazado de las curvas para ambos grupos es notablemente diferente, siendo los temporales **82/11**, **89/11** y **84/11** los que arrojan va-

**Figura 2 Curvas P-A (Precipitación-Área acumulada)**



## Curvas P-A-D

Las curvas P-A-D se utilizan para examinar la distribución en el tiempo de la precipitación. A continuación, se presentan dichas curvas para 2, 6, 12, 24, 48 y 72 h y para dos temporales **77/12** y **82/11** (Figura 3).

Las características distintivas del temporal **77/12** parecen ser las de homogeneidad en el tipo de inestabilidad y en el flujo de aire húmedo sobre la cuenca; produce precipitaciones intensas en el período corto, relativamente más importantes cuanto más pequeña es la superficie afectada.

En el temporal **82/11** cambian las direcciones del flujo del aire y el tipo de inestabilidad con el tiempo y, en consecuencia, las áreas de máxima precipitación se desplazan considerablemente dentro de la cuenca de un día a otro; esto origina que las precipitaciones correspondientes a cada extensión superficial aumenten de forma casi proporcional al tiempo.

lores más altos de precipitaciones para todas las áreas. En base a la distribución espacial de la precipitación referida anteriormente, se eliminó el temporal **66/10**.

La Tabla 3 muestra la relación definitiva de los 6 temporales finalmente seleccionados:

**Tabla 3. Temporales definitivos**

| Temporal | Duración (días) | Volumen total (Hm <sup>3</sup> ) |
|----------|-----------------|----------------------------------|
| 77/12    | 6-10            | 4504                             |
| 82/11    | 6-8             | 6613                             |
| 83/11    | 13-17           | 4652                             |
| 84/11    | 4-9             | 6468                             |
| 89/11    | 18-22           | 6742                             |
| 91/10    | 9-12            | 4368                             |

El resto de los temporales correspondían a situaciones intermedias a las dos anteriores.

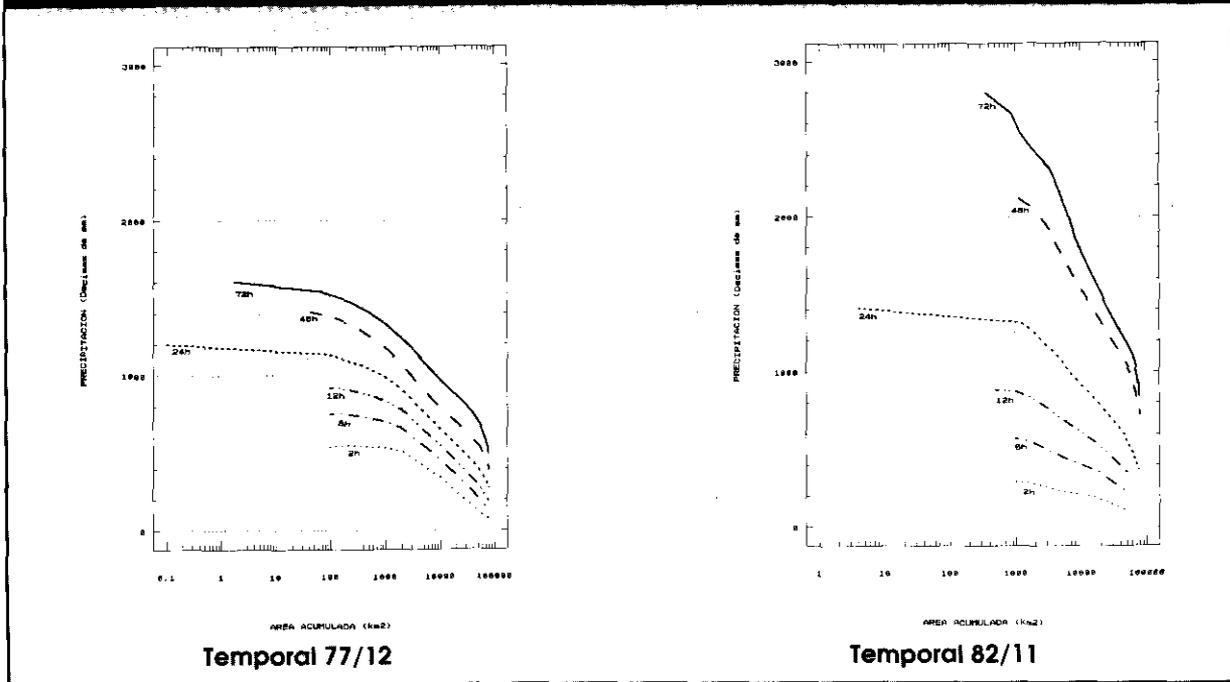
## Maximización por humedad

A partir de los datos de T, T<sub>r</sub> y P se obtuvieron las series climatológicas del punto de rocío (T<sub>d</sub>). De estas series se calculan los valores de T<sub>d12h</sub> y T<sub>d12h(50)</sub> para cada temporal y en cada uno de los observatorios. La estimación de T<sub>d12h(50)</sub> se ha efectuado mediante ajuste gráfico sobre los períodos de retorno empírico.

Los valores obtenidos de T<sub>d12h</sub> y T<sub>d12h(50)</sub>, de la misma altura de agua precipitable (W y W<sub>50</sub>) y del factor de maximización (r<sub>m</sub>) para cada temporal aparecen en la Tabla 4.

Resalta el hecho de que el valor de r<sub>m</sub> es aproximadamente el doble para el temporal **91/10** que para el resto de los temporales. Este será un factor determinante en el trazado de las curvas P-A-D de la PMP.

Figura 3. Curvas P-A-D (Precipitación-Área acumulada-Duración)



Los factores de maximización indicados anteriormente, aplicados a los valores pluviométricos de los respectivos temporales históricos (curvas P-A-D), proporcionan las curvas P-A-D maximizadas, que no aparecen reflejadas por simplificación.

### Estimación de la PMP

A partir de las curvas P-A-D maximizadas, se obtienen las envolventes de los datos de preci-

pitación maximizados de todos los temporales en conjunto para cada duración por separado (2, 6, 12, 24, 48 y 72 h). Se muestran como ejemplo las curvas correspondientes a las duraciones de 2 y 72 h (Figura 4).

Tras la maximización por humedad el temporal 91/10 resulta ser el más influyente en el trazado de curvas envolventes especialmente para duraciones cortas (2, 6, 12 y 24 h) y para la totalidad de tamaños de superficie. Sin em-

Tabla 4. Maximización por humedad

| Temporal | T <sub>012h</sub> | T <sub>012h(50)</sub> | W    | W <sub>50</sub> | f <sub>m</sub> |
|----------|-------------------|-----------------------|------|-----------------|----------------|
| 77/12    | 16,1              | 17,7                  | 36,4 | 42,8            | 1,2            |
| 82/11    | 15,9              | 20,7                  | 35,7 | 55,5            | 1,5            |
| 83/11    | 16,7              | 18,9                  | 38,8 | 47,6            | 1,2            |
| 84/11    | 15,6              | 20,7                  | 34,7 | 55,5            | 1,6            |
| 89/11    | 15,1              | 17,4                  | 33,0 | 41,6            | 1,3            |
| 91/10    | 15,9              | 27,9                  | 35,7 | 104,1           | 2,9            |

Figura 4. Curvas envolventes

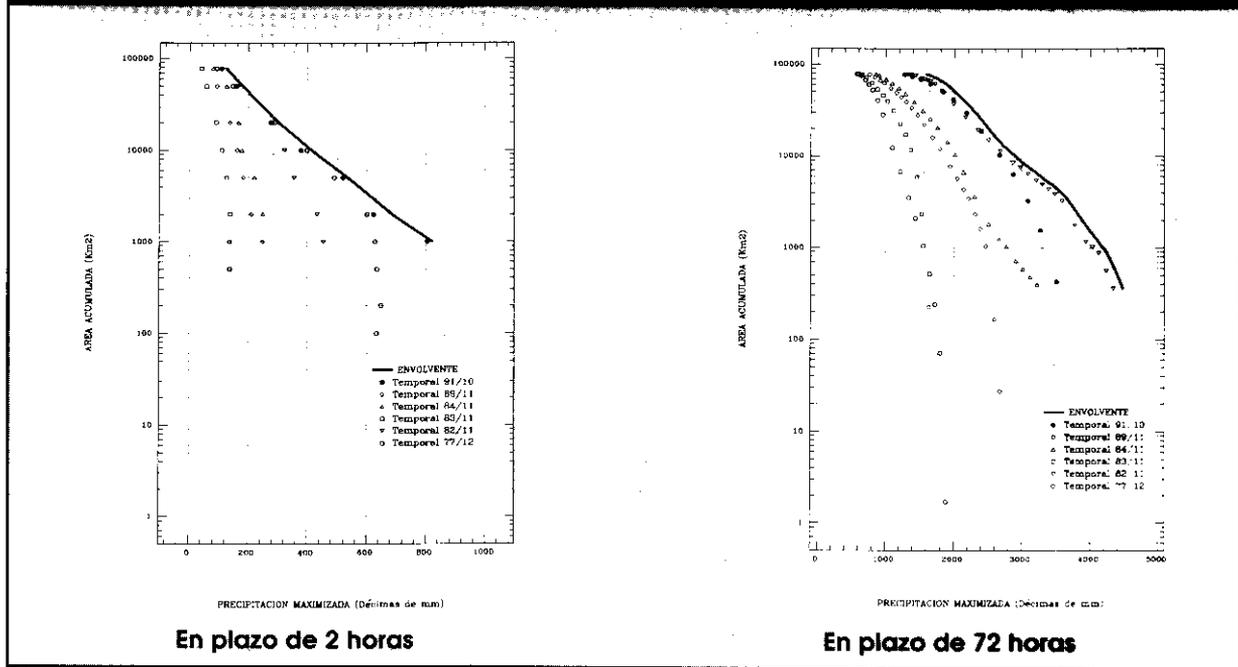
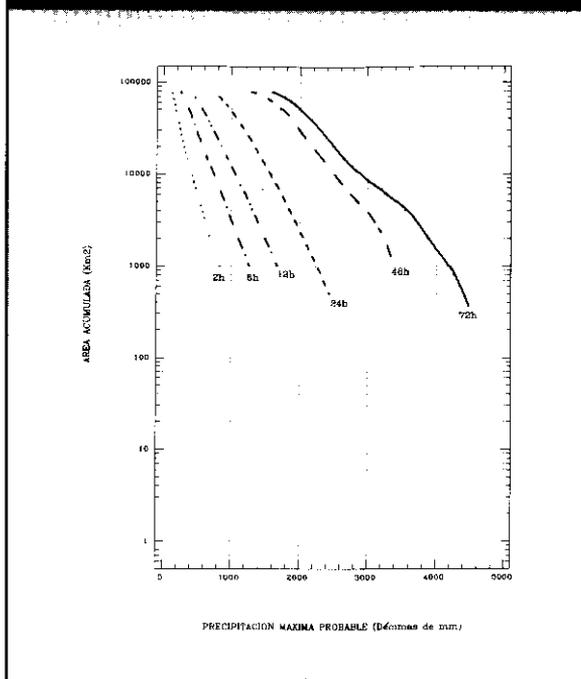


Figura 5. Precipitación Máxima Probable



bargo, los puntos que controlan las curvas de larga duración (48 y 72 h) pertenecen al temporal **82/11**, aunque para la duración de 72 h y áreas superiores a 20.000 km<sup>2</sup> también se aprecia la influencia del temporal **91/10**.

Los valores tomados de las curvas envolventes anteriores se utilizan para construir el conjunto de curvas P-A-D de la PMP (Figura 5). Estas envolventes no representan, en conjunto, a un temporal determinado y al ser el límite superior, para cualquier área, de los valores P-A-D maximizados, indican la PMP asociada a cada extensión superficial. En lo que se refiere a la cuenca del Guadalquivir, la PMP estimada para superficies pequeñas y duraciones cortas (2 h) no alcanza las 100 décimas de mm, mientras que para duraciones largas (72 h) supera las 4.000 décimas de mm. Sin embargo, para superficies grandes, aproximadamente la extensión total de la cuenca, no existe gran diferencia entre los valores estimados de la PMP para duraciones cortas (horas) y largas (tres días).

## Consideraciones finales

Las condiciones meteorológicas deparan, en ocasiones, unos acontecimientos extraordinarios que causan perjuicios en las actividades económicas y en las propias vidas humanas. El carácter catastrófico de estos eventos atmosféricos depende de las inadecuadas intervenciones humanas sobre el espacio geográfico, animadas por motivos de propia supervivencia o guiadas por intereses de cuestionables progresos colectivos en países avanzados.

La preocupación por la temática de los riesgos naturales ha promovido numerosos estudios con el objeto de prevenir y mitigar, en la medida de lo posible, los efectos de fenómenos atmosféricos excepcionales.

Los perjuicios económicos ocasionados por tales sucesos han representado, en el caso de España, unos 400.000 millones de pesetas en el año 1994. La década de los 80 ha sido pródiga en la génesis de dichos eventos. Uno de los sucesos que han causado más pérdidas humanas y económicas en nuestro país fueron las lluvias torrenciales con efecto de inundación.

En cualquier investigación de riesgos climáticos se analizan episodios atmosféricos de rango extremo en un ámbito determinado, con el fin último de mejorar el conocimiento de la realidad climática y reconocer las áreas frecuentemente afectadas por los distintos hechos atmosféricos. En este sentido, se utiliza la PMP, cuyos valores se consideran estimaciones del lí-

mite superior de la precipitación potencial sobre un área. Así, la PMP proporciona no sólo la oportunidad de valorar los sucesos extraordinarios que han acontecido históricamente en una superficie dada, sino que su relevancia radica en que facilitan una medida del riesgo que implican tales fenómenos.

## Bibliografía

- Burlando, P., y Rosso, R. (1991): «Extreme Storm Rainfall and Climatic Change», *Atmospheric Research*, 27, 169-189.
- Capka, B., y Gajic-Capka, M. (1992): «A Case Analysis of Heavy Rainfall Causing Flash Floods», *Theor. Appl. Climatol.*, 45, 77-82.
- Font Tullot, I. (1984): *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 296 pp.
- Medina, M. (1976): *Meteorología básica sinóptica*. Paraninfo, S. A., Madrid, 320 pp.
- OMM (1986): *Manual para la estimación de la precipitación máxima probable*. OMM-N.º 332, Ginebra, 269 pp.
- Sumner, G. (1988): *Precipitation Process and Analysis*. John Wiley & Sons, Nueva York, 455 pp.
- Wheeler, D., y Martin-Vide, J. (1992): «Rainfall Characteristics of Mainland Europe's Most Southerly Stations», *International Journal of Climatology*, 12, 69-76.
- WMO (1969): *Manual for depth-area-duration analysis of storm precipitation*. WMO-N.º 237.TP.129. ■